

УДК 574.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИПОТЕЗЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

Мартынюк В.С., Темуриянц Н.А.

В обзорной работе анализируется современное состояние проблемы влияния слабых электромагнитных полей на живые системы в свете гипотезы о том, что вариации электромагнитного фона, контролируемые космической погодой, могут выступать в качестве главного посредника в солнечно-биосферных связях.

Ключевые слова: солнечная активность, биологические эффекты электромагнитных полей.

С тех пор, как были обнаружены пятна на Солнце, а также тот факт, что ни периодически появляются и исчезают, не утихали споры о том, влияет ли это каким-либо образом на Землю. Уже в конце 19-го начале 20-го веков стало окончательно ясно, что на Солнце постоянно протекают сложные динамические процессы, одним из проявлением которых является комплекс явлений, который получил название «солнечной активности». Если космические факторы оказывают какое-то воздействие на биосферу, то в первую очередь необходимо было выяснить основные эмпирические закономерности такого влияния. Впервые такую масштабную работу осуществил А.Л. Чижевский еще в начале 20-го века [69,70]. В настоящее время существует огромный массив данных, свидетельствующий о связи земных процессов с солнечной активностью. Список феноменов постоянно расширяется. Сейчас предельно ясно, что данная научная проблема является классическим примером междисциплинарных усилий ученых разного профиля – биологов, медиков, физиков, химиков, историков, искусствоведов и др. Новые данные по этому вопросу публикуются в специализированных научных журналах [7, 11, 20]. Междисциплинарные проблемы обсуждаются в монографиях [1, 6, 12-15] и на научных конференциях, среди которых Крымская международная конференция «Космос и биосфера» стала наиболее представительной в этой области знаний.

Однако, несмотря на обилие достоверных фактов, свидетельствующих о связи биологических процессов с солнечной активностью, по-прежнему малопонятными остаются физические и биологические механизмы, отвечающие за реализацию такой связи. В конечном итоге суть проблемы сводится к поиску ответов на два главных самых главных вопроса: какие экологические факторы, контролируемые солнечной активностью, оказывают непосредственное воздействие на биологические системы и каковы биологические механизмы, определяющие разнообразие реакций живых организмов на воздействие этих факторов?

Ответ на первый вопрос в настоящее время более-менее ясен и он лежит в области исследований солнечно-земной физики. В самых общих чертах пути воздействия солнечной активности на среду обитания показаны на рисунке 1. Здесь выделены два основных канала воздействия – через изменения коротковолнового излучения и ионосферу (солнечная активность) и через изменения в солнечном ветре – магнитосферу (геомагнитная активность). Уместно еще раз подчеркнуть, что в первом случае

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИПОТЕЗЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

воздействие суммируется по всему солнечному диску (по всем активным областям), во втором – влияние ограничивается активными областями в узкой зональной области данного солнечного полушария с запаздыванием в 2-4 дня. Здесь не показан еще один возможный канал связи, который значительно реже обсуждается в литературе. Это космические лучи галактического и солнечного происхождения, поток которых модулируется солнечным ветром.

В среде обитания на живые организмы действует комплекс факторов. Ряд факторов, такие как электромагнитные поля крайне низких частот, проникают в лито- и гидросферу, оказывая воздействие практически на все живые организмы биосферы. Другие факторы могут оказывать действие только на ограниченных пространствах и их параметры сильно зависят от состояния атмосферы (радиочастотный электромагнитный фон, инфразвук, электрическое поле, ультрафиолетовое излучение и др.).

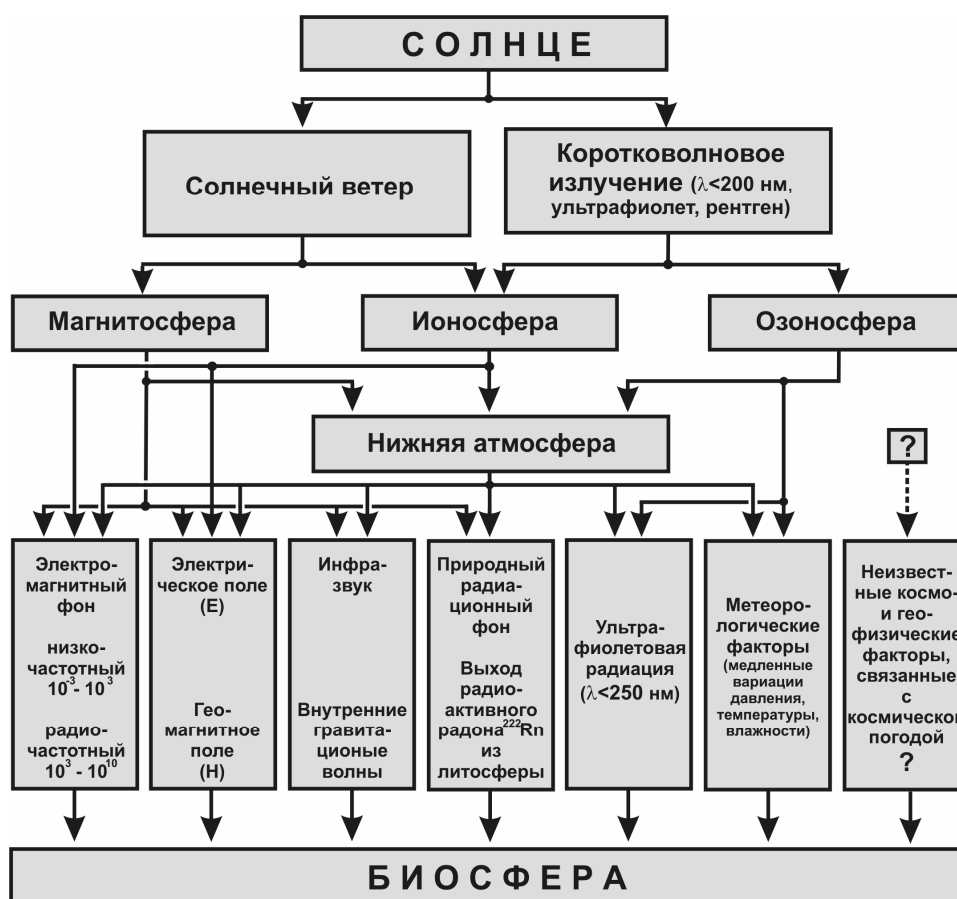


Рис. 1. Общая схема влияния солнечной активности на Биосферу. Показаны два основных канала воздействия: через солнечный ветер – магнитосферу и через коротковолновое излучение – ионосферу и озоносферу. Отсутствие стрелки на правой крайней части схемы означает, что на нынешнем этапе исследований не все пути воздействия космофизических факторов раскрыты.

Ясный ответ на второй вопрос, т.е. о биологических механизмах действия слабых факторов, который по своей сути является фундаментальным биофизическим, пока еще остается открытым. Это связано, с одной стороны, со сложностью исследований влияния крайне слабых факторов на фоне сильных экспериментально неконтролируемых шумов, а с другой, - с отсутствием ясных физических теоретических представлений о механизмах воздействия таких слабых факторов. Эти обстоятельства часто являются причиной острых дискуссий, необоснованной критики, а порой откровенного недоверия к перечисленному кругу научных проблем. Тем не менее, имеющийся современный массив экспериментальных данных позволяет сделать некоторые выводы, о которых пойдет речь ниже. В рамках одной статьи невозможно рассмотреть весь массив данных о влиянии экологических факторов, представленных на рис. 1. Поэтому авторы сосредоточили свое внимание на «электромагнитной гипотезе», которая в настоящее время является наиболее экспериментально обоснованной.

Экспериментальное обнаружение биологической активности слабых (сверхслабых) электромагнитных полей – одно из самых важных достижений современной биофизики и экологии. В настоящее время природные электромагнитные поля рассматривают в качестве главного посредника между активностью солнца и биологическими процессами. Это и не удивительно, потому что наибольшее количество корреляций биологических процессов с солнечной активностью выявлено с использованием гео- и гелиофизических индексов, которые в той или иной степени характеризуют электромагнитную обстановку окружающей среды. Постепенно становится понятным, что вариации амплитуд электромагнитных колебаний на разных частотах тоже необходимо рассматривать как особый экологический фактор фундаментальной важности.

Идея экспериментальной проверки биологической активности электромагнитных полей, близких по своим частотным и амплитудным характеристикам к природным, возникла практически сразу после того, как были установлены основные механизмы воздействия солнечной активности на защитные оболочки Земли. Однако в то время большинство исследователей были убеждены в том, что низкочастотные электромагнитные поля не могут вызывать какие-либо реакции со стороны живых организмов, потому что энергия таких воздействий на несколько порядков меньше энергии, приходящейся на единицу степени свободы теплового движения молекул. Поэтому вопрос о биологической активности и экологической значимости природных электромагнитных полей автоматически снимался с рассмотрения. В такой обстановке накопление экспериментальных данных о влиянии электромагнитных полей нетепловой интенсивности проходило медленно и крайне трудно. Экспериментальные данные о высокой чувствительности живых организмов к таким воздействиям встречались научной общественностью с откровенным недоверием.

Ситуация изменилась после публикаций *А.С. Пресмана* [45]. Он обобщил имеющиеся на тот момент экспериментальные данные и выдвинул три принципиально важных постулата, которые стали базовыми в последующем становлении и развитии нового раздела современной биофизики – электромагнитной биологии неионизирующего излучения. Коротко их можно сформулировать следующим образом: природные и техногенные электромагнитные поля влияют на биологические процессы; внутренние

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИПОТЕЗЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

электромагнитные поля живых организмов участвуют в регуляции биологических процессов; электромагнитные поля принимают участие в коммуникации между организмами. Такой подход привел к появлению концепции об информационной роли электромагнитных полей в биосфере, которая получила серьезное экспериментальное обоснование. Итак, что же сегодня известно о биологической активности слабых электромагнитных полей?

Экспериментальный массив данных по биологической активности слабых электромагнитных полей в настоящее время огромен, и авторы не имеют возможности в рамках одной статьи посвятить читателя во все тонкости этой проблематики. Эта проблема касается не только экологической и медико-биологической значимости природных электромагнитных полей, но и в большей степени электромагнитных излучений техногенного происхождения в широком диапазоне частот. Поэтому рассмотрим только отдельные аспекты электромагнитного воздействия на живые организмы, которые принципиально важны для понимания возможных путей влияния природного электромагнитного фона на биологические процессы.

Перед тем, как рассматривать вопросы биологической активности слабых электромагнитных полей, необходимо определиться в том, как следует понимать термин «слабые». Необходимо отметить, что в электромагнитной биологии четкого критерия «слабого» или «сильного» электромагнитного воздействия не существует в силу высокой чувствительности и нелинейности ответа живого организма на то или иное электромагнитное воздействие. Тем не менее, «слабыми» часто называют такие воздействия, которые не приводят к разогреву биологических тканей. Более точный критерий, который позволяет называть такие воздействия слабыми, - это величина энергии воздействия, которая по своему уровню не должна быть больше энергии, приходящейся на единицу степени свободы теплового движения простых молекул. Однако по отношению к низкочастотным магнитным полям применяют другие критерии «слабости». Очень часто «слабыми» называют такие низкочастотные магнитные поля, амплитуда которых ниже установленных предельно допустимых уровней для жилых и офисных помещений, в данном случае это диапазон ниже 100 микротесла. Для сравнения можно привести такие данные: средняя напряженность (индукция) постоянного магнитного поля Земли составляет приблизительно 50 микротесла, а амплитуда его медленных вариаций может достигать до 1 микротесла; уровень электромагнитного фона, создаваемого электротехническими устройствами в обычных помещениях, в которых проводятся эксперименты, находится в пределах от нескольких десятков до нескольких сотен нанотесла; уровень электромагнитного фона на частотах Шумановского резонанса для электрической компоненты составляет десятые доли милливольт на метр, а для магнитной компоненты – доли-единицы нанотесла. В этой связи важно отметить, что реакции живых организмов экспериментально обнаружены для магнитных полей начиная с единиц пикотесла [101].

Биологические эффекты электромагнитных полей крайне низких частот (менее 300 Гц), близких по своим отдельным характеристикам к природным обнаруживаются на всех уровнях организации живых систем. Этой проблеме посвящено ряд добротных обзорных работ и фундаментальных монографий [6, 60].

Влияние на центральную нервную систему. Воздействие слабых магнитных полей крайне низких частот влияют на электрическую активность мозга животных и человека, при этом энцефалографические данные показывают усвоение разных частот действующего поля [80, 92]. Слабые низкочастотные магнитные поля угнетают развитие условных рефлексов [49, 98], и изменяют зоосоциальное поведение животных [50]. Одной из причин развития торможения на уровне интегративной деятельности центральной нервной системы являются повышения в активности серотонинэргических систем [106], контролируемых уровнем мелатонина в крови, который в свою очередь определяется функциональной активностью особой нейроэндокринной железой головного мозга - эпифиза [79, 100]. Эффекты действия магнитных полей крайне низких частот на поведение и условно-рефлекторную деятельность животных связывают с изменениями также и в холинэргическом медиаторном звене. В исследованиях показано, что причиной снижения холинэргической активности является активация опиоидной системы мозга [86]. Такие изменения в нейромедиаторных системах головного мозга, вероятно, могут быть одной из причин магнитоиндуцированного повышения алкогольного влечения у животных, находящихся в условиях стресса [39]. Важно также то, что слабые электромагнитные поля крайне низких частот влияют на параметры межполушарной асимметрии, которая является одной из фундаментальной характеристикой интегративной деятельности головного мозга [35]. Данные результаты позволяют в определенной степени объяснить наблюдаемый феномен зависимости распределения острых мозговых нарушений кровообращения в полушариях мозга от фазы цикла солнечной активности, обнаруженной *Цыганковым К.В. и соавт.* [67]. В независимых исследованиях показано влияние магнитных полей крайне низких частот на метаболические процессы в разных структурах центральной нервной системы, при этом характер этого влияния сильно зависит от индивидуально-типологических особенностей животных [35]. Это обуславливает разнообразие физиологических реакций в популяции животных на действие переменных магнитных полей, которое не всегда учитывается исследователями при поиске корреляций биологических процессов с вариациями природного электромагнитного фона.

Один из основателей советской электромагнитной биологии *Ю.А. Холодов* [65, 66] считает, что из трех основных структурных элементов нервной ткани - нейрон, глия, кровеносный сосуд - наиболее чувствительной к магнитным полям является глия. При этом детальное изучение самых начальных реакций мозга в течение первых секунд и минут воздействия электромагнитных полей позволило *Холодову Ю.А.* сделать важный вывод о неспецифичности таких реакций на уровне центральной нервной системы [66]. Этот исследователь предлагает называть такую реакцию НАРМ-реакцией, т.е. «начальной адаптационной реакцией мозга». Принципиальным моментом такой системной неспецифической реакции является то, что при НАРМ-реакции еще не наблюдается никаких изменений со стороны периферических органов и тканей.

Исследовательская группа под руководством академика РАН *Агаджаняна Н.А.* [1] в лабораторных условиях моделировала короткопериодные магнитные пульсации с частотами 0.05 – 5 Гц 100 нТл, которые по своим характеристикам близки к пульсациям геомагнитного поля. Результаты их исследований показали, что такие МП КНЧ повышают спонтанную ритмическую активность нервных клеток мозжечка, что доказывает возможность прямого влияния МП КНЧ на функциональную активность отдельных нейронов и их ассоциатов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИПОТЕЗЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

Таким образом, краткий анализ имеющегося в настоящее время большого массива экспериментальных данных указывает на то, что в ответ на действие электромагнитных полей, близких по своим частотным и амплитудным характеристикам к природным, со стороны центральной нервной системы наблюдаются разнообразные реакции, начиная с изменений реализации программ поведения и заканчивая элементарной биохимической и биофизической организацией нервных процессов.

Влияние на нейроэндокринную регуляцию. Широко известно, что эндокринные железы и, в частности, система гипоталамус-гипофиз-кора надпочечников играют важную роль в неспецифических защитно-приспособительных реакциях организма на воздействие разнообразных факторов внешней среды, в том числе и на действие электромагнитных полей [4]. Поэтому не удивительно, что в исследованиях биологической активности слабых электромагнитных полей обнаруживаются разнообразные реакции со стороны данного звена нейроэндокринной системы организма. В частности, повышается активность симпатoadреналовой системы и увеличивается накопление адреналина в эритроцитах [56], сдвигаются параметры ее биоритмов [58, 61]. Результаты многочисленных исследований показывают фазную активацию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, реакции со стороны щитовидной железы, половых желез [19].

В системных механизмах воздействия электромагнитных полей на живые организмы важную роль играет эпифиз, который по последним данным, участвует в регуляции циркадианного ритма посредством специального гормона – мелатонина [62]. Эпифиз вовлекается в регуляцию разнообразных физиологических и иммунных процессов, что во многом объясняется существованием многочисленных взаимосвязей с различными структурами мозга и эндокринными железами. Показано, что, оказывая сложное влияние на состояние гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, эпифиз взаимодействует с различными эндокринными органами, среди которых гонады, надпочечники, щитовидная и поджелудочная железы. Причем указанное влияние имеет, главным образом, сдерживающий, ингибирующий характер. Одновременно с этим мелатонин является важным и тонким модулятором активности разных звеньев иммунной системы. Анализ многочисленных литературных данных свидетельствует о том, что слабые магнитные поля самых различных характеристик вызывают принципиально одинаковые изменения в функциональной активности эпифиза, которые приводят к снижению концентрации мелатонина в крови.

Влияние на сердечно-сосудистую систему. Одной из магниточувствительных систем организма является сердечно-сосудистая система, а ее функциональные изменения, скорее всего, являются результатом нарушения транспорта кислорода в тканях. Слабые магнитные поля, в зависимости от условий эксперимента, могут оказывать аритмогенное действие на функции сердца [27] или снижать показатель вариабельности сердечного ритма [102]. Это в обоих случаях рассматривается как неблагоприятный фактор, свидетельствующий о напряженной работе регуляторных механизмов, контролирующей работу сердца.

Влияние на систему крови и иммунитет. Эффекты воздействия слабых магнитных полей крайне низких частот хорошо выявляются на показателях системы крови и зависят от частоты, интенсивности и экспозиции воздействия [56]. В первые часы воздействия, как правило, наблюдается лейкопения, т.е. происходит снижение количества лейкоцитов

в крови [32]. Одновременно в режиме колебаний изменяются показатели функциональной активности лейкоцитов [61]. Действие магнитных полей также проявляется в активизации противосвертывающей системы крови [47]. Важным является тот факт, что были найдены частотные «окна», в которых наблюдались более выраженные биоэффекты синусоидальных и импульсных переменных магнитных полей крайне низких частот с амплитудами 5,1; 51 и 5100 нТл. Так показатели периферической крови существенно изменялись только в результате воздействия отдельных частот: 0,02; 0,55; 5,5; 9,5 и 80 Гц [56].

Иммунная система также демонстрирует высокую чувствительность к действию электромагнитных факторов. Установлено, что при действии электромагнитных полей изменяются факторы гуморального естественного иммунитета [22], при этом лейкоцитарное звено проявляет наиболее высокую чувствительность к этому воздействию. Хроническая экспозиция в МП КНЧ может подавлять активность некоторых клонов клеток иммунной системы и тем самым способствовать развитию разного рода иммунодефицитов и снижению защиты организма от перерождающихся клеток [93]. Однако есть данные и о магнитно-полевой активации иммунных процессов, когда магнитно-полевое воздействие приводило к повышению синтетического потенциала лимфоцитов и тимоцитов, т.е. магнитные поля крайне низких частот способствуют восстановлению исходно сниженных клеточных характеристик до субнормальных и даже нормальных значений. Нормализующее и «антистрессорное» влияние слабых переменных магнитных полей 8 Гц на животных обнаружено в исследованиях *Темуриянц Н.А. и соавт.* [56, 57].

Как известно, одним из важных клеточных элементов иммунного происхождения в разных тканях организма человека и животных являются тучные клетки, синтезирующие и секретирующие биологически активные регуляторы - гепарин, гистамин, серотонин, катехоламины. Магнитное поле вызывает увеличение количества тучных клеток и повышает их функциональную активность, что свидетельствует о важной роли тучных клеток в изменении реактивности организма на воздействие магнитных полей, на активное участие их в иммунорегуляторном цикле. Авторами были проведены специальные исследования реакции тучных клеток на действие магнитного поля частотой 8 Гц в условиях *in vitro* [36, 37]. Было показано, что тучные клетки непосредственно реагируют на магнитно-полевое воздействие повышением своей функциональной активности, при этом слабая, но достоверная реакция данных клеток была обнаружена для интенсивностей магнитного поля порядка несколько десятков нанотесла. Эта реакция усиливалась с увеличением амплитуды переменного магнитного поля. На основании этих фактов был сделан вывод о том, что данные клетки и им подобные (клетки APUD-системы) в организме человека и животных могут выступать в роли неспецифических акцепторов магнитно-полевого воздействия, вызывая комплекс неспецифических тканевых и системных реакций, которые давно описаны в литературе, но не имели единого объяснения.

Влияние на обмен веществ. Многочисленные исследования показывают, что воздействие переменных магнитных полей на организм животных и человека приводят к изменениям активности углеводного обмена [26], при этом отмечается угнетение кислородного энергетического звена и активации бескислородного - гликолитического.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИПОТЕЗЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

Основываясь на данных литературы, можно предположить, что такие метаболические сдвиги являются отражением развития гипоксии в разных тканях организма и активации анаэробных путей энергетического обмена в клетках тканей [54]. Существенным моментом при действии магнитных полей крайне низких частот является изменение показателей липидного обмена. При многократном воздействии магнитным полем происходит уменьшение содержания липидов в крови и в печени экспериментальных животных [68]. Это указывает на то, что в результате развития неспецифической адаптационной реакции организма в ответ на многократное действие магнитным полем происходит переключение метаболизма с углеводного типа на липидный. Причем, на фоне количественных изменений наблюдаются и качественные сдвиги липидного состава. Одновременно с этим наблюдаются изменения со стороны системы транспорта липидов в крови, в том числе и такие, которые в зависимости от параметров электромагнитного воздействия носят анти- или наоборот проатеросклеротический характер.

В ряде исследований показано влияние слабых магнитных полей на процессы свободнорадикального окисления липидов [31]. Одновременно с этим изменяется активность разных звеньев антиоксидантной системы, которая контролирует активность свободнорадикальных процессов в клетках. Наиболее чувствительным звеном этой системы является тиол-дисульфидный обмен, контролирующий количество тиоловых групп, которые активно реагируют со свободными радикалами. Подтверждением данных о влиянии магнитных полей на свободнорадикальные процессы могут служить работы, посвященные изучению влияния данного фактора на химические реакции с участием тиоловых соединений [43]. В этой связи важно отметить, что реакции окисления тиоловых соединений являются классическим примером «гелиочувствительных» физико-химических процессов [53].

Обнаружены изменения водно-солевого баланса в разных тканях животных, находящихся в магнитном поле, в частности выявляется повышение гидратации тканей под влиянием магнитных полей, которое зависит от времени экспозиции и типа биологической ткани. Наиболее чувствительными и реактивными являются нервная ткань и миокард.

Неспецифичность системного ответа организма. В настоящее время убедительно доказано, что в ответ на единичное или длительное воздействие магнитных полей, близких по своим частотным характеристикам к природным, у животных развивается неспецифическая адаптационная реакция [19, 56, 57]. При этом указанная адаптационная реакция характеризуется повышением уровня неспецифической резистентности, которая проявляется в возрастании функциональной активности лимфоцитов и повышением активности антисвертывающей системы крови. Поведенческая адаптация проявляется в усилении процессов торможения в центральной нервной системе и повышении физиологического резерва симпатoadреналовой системы. В данных исследованиях обнаружен интересный феномен «антистрессорного» действия слабого магнитного поля частотой 8 Гц, когда у нормальных животных данный фактор вызывал адаптивную активацию системы неспецифической резистентности организма, тогда как у стрессированных животных воздействие слабым магнитным полем приводило к частичной нормализации функциональных показателей деятельности иммунной и симпатoadреналовой систем. На основании результатов исследований реакции организма

человека и животных на действие низкочастотных магнитных полей предложена классификация адаптационных реакций, которая в настоящее время широко используется в физиологических исследованиях [19]. Согласно этой классификации существует три основных типа неспецифических адаптационных реакций, которые развиваются на действие слабых, средних и сильных по интенсивности факторов – реакция активации, реакция тренировки и стресс-реакция (по *Селье*). В ответ на действие слабых переменных магнитных полей развивается, как правило, неспецифическая адаптационная реакция активации. При длительном и более сильном воздействии может развиваться реакция тренировки. При этом классическую стресс-реакцию по *Селье* на действие магнитных полей получить практически не удается.

Индивидуальная чувствительность и реактивность организма. В современной электромагнитной биологии остро стоит проблема индивидуальной чувствительности и гиперчувствительности к электромагнитным полям, которая пока что в основном изучается в основном на феноменологическом уровне. В отдельных исследованиях показано, что чувствительность животных к магнитным полям коррелирует с повышенной активностью свертывающей системы, повышенным потреблением алкоголя и повышенной активностью опиоидной системы [39]. Однако комплексных экспериментальных исследований, посвященных данному вопросу, крайне мало. Наиболее детально проблему индивидуальной чувствительности и реактивности животных на действие магнитных полей крайне низких частот экспериментально исследовали в Таврическом национальном университете исследовательская группа под руководством *Н. А. Темурияц* [35, 59]. Индивидуально-типологические особенности животных определяли с помощью теста «открытого поля». По результатам тестирования животные были разделены по разным группам в соответствии с их поведением в «открытом поле»: низко, средне и высокоактивные. Как известно, поведение в «открытом поле» коррелирует с такими показателями, как уровень стресс-гормонов в крови, устойчивость организма к действию стресс-факторов разной природы, к фармакологическим препаратам и ксенобиотикам. Авторами было обнаружено, что у животных с разным типом поведения в «открытом поле» в ответ на действие МП частотой 8 Гц наблюдаются разные изменения со стороны функциональной активности нейтрофилов и лимфоцитов, а также симпато-адреналовой системы. У низкоактивных животных наблюдалась более сильная активация симпатоадреналовой системы и повышение возбудимости, тогда как у высокоактивных проявлялись признаки снижения возбудимости центральной нервной системы. Исследование метаболического состояния разных структур головного мозга животных в условиях воздействия магнитным полем также подтвердило зависимость реакции организма от его индивидуально-типологических характеристик [35]. Интересной особенностью реакции организма животных на действие слабых магнитных полей является ее зависимость от исходного состояния того или иного органа или функциональной системы. Если для органа или функциональной системы исходно характерен высокий уровень активности, то в ответ на действие слабого магнитного поля, как правило, происходит снижение активности и наоборот. В результате такой реакции исследователи достаточно часто наблюдают эффект нивелирования различий между экспериментальными индивидуально-типологическими группами. В этой связи уместно отметить тот факт, что экранирование

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИПОТЕЗЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

животных от воздействия фоновых электромагнитных полей приводит к обратному эффекту, т.е к усилению их индивидуальных различий [44].

На основании имеющегося массива данных уже сейчас ясно, что эмоциональная сфера животных с низкой активностью в «открытом поле» более чувствительна к действию слабых магнитных полей, чем у более активных животных. Таким образом, можно считать экспериментально доказанным тот факт, что в популяции организмов всегда существуют своего рода «организмы-сенситивы», демонстрирующие повышенную чувствительность и реактивность к действию слабых электромагнитных факторов. Данная проблема имеет очень важное теоретическое и практическое значение, но все еще остается плохо изученной.

Влияние на эмбриогенез. В магнитобиологических исследованиях периодически обращают внимание на влияние электромагнитных полей на эмбриональное развитие, так как можно ожидать, что любые незначительные изменения в развитии функциональных систем организма могут проявиться после его рождения. Подобные исследования актуальны, однако крайне трудны в постановке экспериментов, что, видимо, объясняет немногочисленность исследований в этом направлении. В отдельных исследованиях показано, что экспозиция куриных эмбрионов в магнитном поле повышает вероятность гибели эмбрионов. При этом эффективность негативного влияния магнитного поля более высокая, если воздействие осуществляется в критические фазы эмбрионального развития [87]. Негативное влияние магнитных полей, по всей видимости, начинается с некоторых пороговых значений [85], а влияние магнитных полей более низких (подпороговых) амплитуд остается неизученным. Ряд исследований показывает, что на стадии гаструлы эмбрионы наиболее чувствительны к действию слабых магнитных полей [87]. Одной из главных мишеней влияния переменных магнитных полей рассматривают сложную систему электрических токов в эндогенном электрическом поле эмбриона, которая играет важную роль в реализации программы развития организма [96].

Влияние на биологические ритмы. Как известно, динамика биологических систем характеризуется широким спектром периодов - от микро- и внутрисуточных до многолетних биоритмов. Согласование спектра биологических процессов с периодами гео-гелиодинамики позволяет предположить наличие явления синхронизации биологических ритмов внешними датчиками времени. *Wever R.A.* [105] один из первых показал синхронизирующее влияние слабых переменных электромагнитных полей на суточную ритмику организма человека, находящегося в экспериментальных условиях изоляции от воздействия природных факторов внешней среды. В биоритмологических исследованиях, проведенных в Таврическом национальном университете исследовательской группой *Темурьянц Н.А.*, магнитное поле частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл при ежедневном трехчасовом воздействии в течение 45 суток на животных приводило к сдвигу фазу инфрадианных (многосуточных) периодов разнообразных физиологических процессов. Данные факты связывают с изменениями временной организации в инфрадианном диапазоне биоритмов системных регуляторных процессов на уровне центральной и вегетативной нервной системы.

В многочисленных исследованиях показано нарушение суточного ритма секреции эпифизом гормона мелатонина. Но при десинхронозе, вызванном удалением эпифиза, периодическое воздействие магнитным полем оказывает стабилизирующее действие на

временную организацию физиологических процессов [62], что свидетельствуют о наличии альтернативных механизмов влияния магнитных полей, не требующих участия эпифиза.

Воздействие магнитных полей крайне низких частот не только изменяет параметры биоритмов, но и нивелирует исходные различия в параметрах временной организации физиологических процессов у животных с разными индивидуально-типологическими особенностями. Это является доказательством того, что периодически воздействующее слабое магнитное поле является синхронизирующим фактором, в ответ на действие которого у животных формируется соответствующий биоритмологический паттерн, который по своим параметрам становится близким у всех животных, независимо от первоначальных различий. Одним из наглядных примеров такого воздействия является выраженный синхронизирующий эффект магнитного поля частотой 8 Гц для ультрадианных (внутрисуточных) ритмов [31]. Важно то, что синхронизирующий эффект сохраняется некоторое время после прекращения магнитного воздействия.

Влияние на клеточном и молекулярном уровне. Исследования показывают, что слабые переменные магнитные поля изменяют скорость созревания и дифференциации развивающихся нейронов [91]. Магнитно-полевое воздействие достоверно влияет на транскрипцию разнообразных генов [81], при этом эффекты на этом уровне зависят от частоты магнитного поля [82]. Обработка клеточных культур низкочастотным магнитным полем приводит к появлению в цитоплазме и ядре клеток белков теплового шока, что свидетельствует об активации неспецифических механизмов клеточной защиты [104]. Наблюдаемые эффекты активации синтеза белков теплового шока зависят от амплитуды воздействующего магнитного поля, повышение амплитуды которого с 0,8 мкТл до 800 мкТл эквивалентно эффекту разогрева исследуемых клеточных культур с 20°C до 45°C [76]. Дальнейшие исследования показали, что к воздействию низкочастотных магнитных полей чувствительны отдельные участки ДНК, обогащенные пСТСТп-последовательностями. Эти последовательности входят в состав промоторных (регуляторных) участков генов разных белков, в том числе и белков теплового шока [90].

Обнаружено влияние слабых магнитных полей крайне низких частот на устойчивость хроматина к действию ферментов, расщепляющих ДНК [40]. Эти изменения связаны со снижением активности белков-ингибиторов. В свою очередь это свидетельствует о магнито-индуцированных конформационных изменениях в структуре белка-ингибитора, приводящих к потере его функциональной активности. Структурные изменения ДНК-белкового комплекса обнаружены и у прокариот [73, 74]. При этом максимальные эффекты регистрировали на частотах, близких к частотам ионосферного волнового - 8,9, 15,5 и 29,4 Гц у мутантных форм, и на частотах 8,3 и 27 Гц у бактерий с диким фенотипом. Аналогичные исследования на эукариотических клетках показали максимальные эффекты магнитных полей на частотах 9 и 16 Гц [73, 74]. Эти данные свидетельствуют о том, что биологическая эффективность магнитных полей крайне низких частот на генетическом уровне в определенной степени зависит от особенностей нуклеотидной последовательности и характера взаимодействия белков с ДНК.

Слабые магнитные поля крайне низких частот способны влиять на концентрацию некоторых регуляторных молекул и ионов, выполняющих роль внутриклеточных сигналов [88], а также на продукцию свободнорадикальных форм кислорода [103].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИПОТЕЗЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

Результаты многих экспериментальных исследований, проведенных в разное время, показывают, что одной из мишеней действия магнитных полей могут быть кальций-зависимые пути внутриклеточной регуляции [28, 89], посредством которых осуществляется передача в клетку сигналов разной природы. Малые изменения концентрации ионов кальция (Ca^{2+}) в цитоплазме могут вызывать достаточно сильные функциональные изменения в клетке, поэтому с влиянием электромагнитных полей на Ca^{2+} -зависимые пути внутриклеточной сигнализации многие исследователи связывают разнообразные эффекты данного фактора на клеточном уровне.

Важным моментом влияния слабых магнитных полей является изменение активности ряда биологически активных веществ и фармакологических препаратов. Так, например, снижается онкостатическое действие мелатонина и тамоксифена на раковые клетки [83, 84], не проявляет свое биологическое действие хромогликат натрия, который используется для купирования приступов бронхиальной астмы [37]. Перечень таких эффектов в настоящее время постоянно расширяется.

Известно, что на мембранном уровне организации биологических объектов реализуется целый ряд специфических биологических явлений, таких, как, транспорт ионов и метаболитов, генерация и проведение электрических импульсов и т.д., которые лежат в основе информационно-энергетических потоков между клетками и средой. Поэтому влияние на структуру и функцию биологических мембран является одним из стержневых вопросов проблемы биологического действия электромагнитных полей. Показана принципиальная возможность изменения сопряженности окисления и фосфорилирования в дыхательной цепи, интегрированной в мембрану [64]. Вероятно, такие изменения могут быть связаны с изменениями гидрофобности поверхности, проницаемости и других физико-химических свойств клеточных мембран, в том числе на уровне проявления поверхностно-активных свойств природных липидов [94].

Важное место в понимании первичных механизмов действия магнитных полей крайне низких частот на живые организмы занимают вопросы, связанные с его непосредственным влиянием на структурно-функциональные свойства биомакромолекул. В модельных исследованиях показано, что электромагнитные поля в диапазоне частот 1 – 3000 Гц изменяют активность ряда мембранных ферментов, выполняющих разные задачи в клетке [40, 77, 78]. Эти эффекты связаны с изменением пространственной структуры белков [41], но такие структурные изменения, по всей видимости, лучше проявляются при неспецифической нагрузке белков низкомолекулярными гидрофобными лигандами [95], что убедительно свидетельствует о непосредственном влиянии слабых магнитных полей на структурно-функциональные свойства белков.

Результаты многих магнитобиологических исследований свидетельствуют о зависимости биологических эффектов от частотных, амплитудных и экспозиционных характеристик электромагнитного воздействия. В электромагнитной биологии давно известен «загадочный» феномен частотных и амплитудных «окон», в которых имеют место выраженные биологические эффекты. В других диапазонах ответ биологической системы может отсутствовать. К сожалению, наличие таких частотно-амплитудных «окон» не всегда подтверждается в независимых исследованиях, что часто связано с разными условиями экспериментов. Тем не менее, в последние десятилетия выяснена природа некоторых таких частотно-амплитудных зависимостей. Adey и сотр. одни из

первых обнаружили в диапазоне крайне низкий частот выраженную частотную зависимость выхода ионов кальция (Ca^{2+}) из тканей цыпленка [72], и это послужило мощным толчком к дальнейшему исследованию роли биологически значимых ионов в первичных механизмах биологического действия низкочастотных электромагнитных полей. В настоящее время благодаря работам *Леднева В.В.* [28], *Бинги В.Н.* [6] и ряда других исследователей указанная частотная зависимость получила ряд альтернативных теоретических объяснений. В основе предлагаемых моделей лежит явление взаимодействия заряженных ионов с постоянной и переменной компонентами магнитного поля. Согласно теоретическим представлениям для конкретного значения постоянного магнитного поля существуют определенные комбинации частот и амплитуд переменной компоненты, когда наступает явление резонанса. В таких условиях резонанса сильно изменяются параметры взаимодействия ионов, например, с белками, которые в свою очередь изменяют свою активность и запускают (или, наоборот, тормозят) в клетке каскадные метаболические реакции, которые таким образом на многие порядки усиливают исходно крайне слабый по энергии сигнал.

Вода как сенсор слабых электромагнитных воздействий. Как известно, основным веществом живых организмов является вода, содержание которой в разных биологических тканях составляет от 60 до 99 %. Вода – это не только и не столько растворитель, в котором протекают все биохимические превращения. Вода является непосредственным участником метаболических и энергетических процессов. Она является главным структурообразующим фактором на бимолекулярном уровне. Поэтому среди теоретических моделей влияния магнитных полей на биологические системы «водные» теории занимают отдельное место. Особая роль воды в реализации магнитобиологических эффектов обусловлена тем, что она образует с биологическими макромолекулами единую систему, где свойства компонентов неразрывно связаны друг с другом. Это, в свою очередь, оказывает влияние на течение разнообразных биологических процессов, протекающих в водной среде. При этом уникальность роли воды проявляется в том, что она непосредственно влияет на формирование и стабилизацию нативной структуры и функционирование макромолекул биополимеров, клеточных мембран и более сложных надмолекулярных образований. Так, еще *Дж. Пиккарди* в середине прошлого века в ходе многолетних исследований пришел к выводу о том, что в основе биологических эффектов низкочастотных электромагнитных полей лежит их взаимодействие с водой и водными системами. По мнению этого исследователя, это вызвано динамическим метастабильным состоянием, характерным для большинства растворённых в воде макромолекулярных систем.

В настоящее время большинство гипотез основывается именно на представлениях о динамической структуре воды, меняющейся определенным образом в пространстве и во времени при воздействии на нее разных физических факторов. Согласно данным представлениям именно водная квазикристаллическая метастабильная фаза является первичным акцептором магнитно-полевого воздействия. Изменения свойств воды неминуемо должны сказываться на структуре и функции белков и биологических мембран, для которых вода является той самой внешней средой, которая определяет из структурную организацию и функциональную динамику. Вероятно, по этой причине изменяются оптические свойства белков [41, 95] и проявление поверхностно-активных

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИПОТЕЗЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

свойств природных фосфолипидов [94], изменяется растворимость в воде веществ и их адсорбция [25, 34]. Учитывая чувствительность воды и водных растворов к действию разнообразных природных факторов киевский исследователь *Василик П.В.* [10] высказал предположение о том, что в основе механизмов формирования биологических ритмов могут лежать элементарные физико-химические процессы в водной фазе, активность которых модулируется природными электромагнитными факторами, связанными с космической погодой. В качестве доказательства своей правоты исследователь приводит данные по совпадению основных характеристик спектров вариаций свойств воды и водных растворов и биологических процессов. Результаты исследований по динамике электропроводности воды [2] и других физико-химических показателей воды и водных растворов [97], а также результаты сопоставления динамики физических параметров водных растворов электролитов и показателей функциональной активности головного мозга [30] могут служить подтверждением правоты таких представлений. На наш взгляд гипотеза о том, что вода в живых системах является одним из главных акцепторов электромагнитного воздействия, является достаточно интересной и требует всесторонней скрупулезной проверки. Тем не менее, авторы вынуждены констатировать, что по этому вопросу уже многие десятилетия ведутся острые дискуссии, в которых представлен весь спектр мнений – от полного отрицания реальности влияния слабых электромагнитных полей на свойства воды, до безоговорочного принятия всех фактов, в том числе и явно противоречащих здравому смыслу. Последнее обстоятельство не способствует серьезному восприятию данной проблемы научной общественностью и тормозит развитие исследований, результаты которых могут быть крайне неожиданными и очень важными для понимания фундаментальных основ живой природы.

Таким образом, современный массив экспериментальных данных позволяет сделать следующие обобщения относительно биологической активности слабых электромагнитных полей крайне низких частот. Эффекты воздействия низкочастотных магнитных полей обнаруживаются на всех уровнях организации живых организмов. При этом наиболее чувствительными физиологическими системами к данному фактору являются нервная, нейроэндокринная, иммунная, диффузная эндокринная (APUD-система) и сердечнососудистая системы.

Главные особенности влияния низкочастотных магнитных полей, как неповреждающего фактора, на уровне целостного организма заключаются в следующем. Во-первых, изменения физиологических и метаболических показателей, в подавляющем большинстве случаев, происходят в рамках физиологической нормы реакции на обычные слабые или умеренные раздражители. Эти изменения нелинейно зависят от частотно-амплитудных и пространственно-временных экспозиционных характеристик электромагнитных полей. Во-вторых, комплекс функциональных изменений, вызванных действием слабых электромагнитных полей, свидетельствует об активации систем неспецифической адаптации организма, это приводит к повышению его устойчивости к действию других факторов. В-третьих, воздействие низкочастотных электромагнитных полей носит выраженный синхронизирующий характер в широком диапазоне периодов биологических ритмов. В-четвертых, общий характер адаптивного ответа организма на действие низкочастотных электромагнитных полей зависит от исходного

функционального состояния организма и его индивидуально-типологических (конституциональных) особенностей.

Основываясь на приведенных выше закономерностях, невозможно дать однозначный ответ на вопрос о том, являются ли слабые природные низкочастотные электромагнитные воздействия полезным или вредным экологическим фактором. Все зависит от конкретных условий, а именно от физиологического состояния биообъекта (норма или патология), конституции организма, времени воздействия, частотно-амплитудных характеристик электромагнитного поля и т.д. Вероятно, правильным ответом на поставленный вопрос будет следующий: природные электромагнитные поля являются обязательным экологическим фактором, который постоянно влияет на живые организмы, поддерживая их адаптационный потенциал и оказывая синхронизирующее воздействие. В условиях патологии слабые электромагнитные поля становятся фактором, который может либо оказывать стабилизирующее (антистрессорное) действие, либо выступать как сенсibilизатор патологического процесса. Даже такое упрощенное представление позволяет понять, почему в популяции организмов часто наблюдают разную реакцию на изменение космической погоды.

В заключение необходимо отметить, что вариации природного электромагнитного фона не ограничиваются только диапазоном низких частот. Космическая погода также достаточно сильно влияет на интенсивность электромагнитных излучений в радиочастотном диапазоне (см. раздел 1.4). Это влияние усиливается в связи техногенной электромагнитной накачкой ионосферного волновода в радиочастотном диапазоне, при этом электромагнитные излучения в радиочастотном диапазоне модулируются по амплитуде частотами ионосферного волновода [23, 24]. Еще совсем недавно считалось, что поток радиоизлучения Солнца и его вариации настолько малы, что не могут оказывать никакого воздействия на живые организмы. Однако в последние десятилетия надежно показана сверхчувствительность живых организмов к воздействию электромагнитных волн миллиметрового диапазона нетепловой интенсивности (менее $10 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$), при этом имеют место выраженные резонансные эффекты [5]. Ряд исследователей отмечает, что минимальные пороговые значения интенсивности электромагнитных волн миллиметрового диапазона, при которых регистрируется какая-либо реакция живого организма, лежат в пределах $10^{-19} - 10^{-20} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$ [51]. Такие невероятно низкие пороговые уровни не всегда обнаруживаются в независимых исследованиях и по этому поводу идут ожесточенные споры. Но, несмотря на то, что в этом деле много остается неясного, большинство исследователей разделяют мнение о том, что открытие высокой биологической активности электромагнитных излучений крайне высоких частот позволяет по-новому осмыслить некоторые биофизические принципы организации и регулирования биологических процессов.

В специальных исследованиях обнаружено радиоизлучение Солнца в миллиметровом диапазоне, оно крайне мало и представлено сплошным спектром, его интенсивность по порядку величин близка к пороговым уровням реакции живых систем и естественным образом зависит солнечной активности. Миллиметровые волны сильно экранируются атмосферой и их интенсивность существенно зависит от влажности. Поэтому данный электромагнитный диапазон, вероятно, не следует рассматривать в качестве главного фактора-посредника влияния космической погоды на биосферные

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИПОТЕЗЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

процессы. Более того на вопрос, обладает ли такое природное широкополосное миллиметровое излучение биологической активностью, достоверного ответа пока нет. Есть только теоретические предположения о том, что такое влияние тоже в принципе возможно [71]. Справедливости ради следует отметить, что подобные вопросы и предположения справедливы и для других радиочастотных диапазонов природного электромагнитного фона. Ведь биологическая активность сверхвысокочастотных излучений для отдельных частот в сантиметровом и дециметровом диапазонах, которые по своей интенсивности относят к нетепловым, но, которые, тем не менее, на много порядков превышают уровни природных, тоже экспериментально установлена. Авторы выражают надежду, что в ближайшем будущем исследователи получат ответы на эти вопросы.

Список литературы

1. Агаджанян Н.А., Власова И.Г. Влияние инфранизкочастотного магнитного поля на ритмику нервных клеток и их устойчивость к гипоксии // Биофизика. – 1992. – Т. 37, №4. – С. 681 – 689.
2. Агеев И.М., Шишкин Г.Г. Исследование изменения электропроводимости воды при нагреве различными источниками тепла, включая биологические. – Биофизика. – 2002. – Т. 47, №5. – С. 829–832.
3. Александров В.В. Экологическая роль электромагнетизма. – С.Пб.: Изд-во Политехнического Университета, 2006. – 716 с.
4. Андрейчук Л.А., Навакатилян М.А. Чувствительность некоторых звеньев эндокринной системы к воздействию переменных ЭМП промышленной частоты // Гигиена населенных мест. – Киев. – 1999. – вып. 34. – С. 38–45.
5. Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. – М.: URSS, 2004. – 272 с.
6. Бинги В.Н. Магнитобиология. Эксперименты и модели. – М.: Изд-во МИЛТА, 2002. – 592 с.
7. Биофизика. – 1992. – Т. 37. – №. 3 и 4; 1995. – Т. 40. – №. 4 и 5; 1998. – Т. 43, №. 4 и 5; 2001. – Т. 46, № 5.
8. Бреус Т. К., Чибисов С. М., Баевский Р. М., Шебзухов К. В. Хроноструктура биоритмов сердца и внешней среды. – М., Изд-во Российского университета дружбы народов, 2002. – 232 с.
9. Бреус Т.К., Раппопорт С.И. Магнитные бури: медико-биологический и гелиогеофизический аспект – М.: Изд-во Советский спорт, 2003. – 192 с.
10. Василик А.В., Галицкий А.К. Ритмы изменения свойств воды как фактор формирования биологических ритмов // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. – Вып. 66. – С. 11– 17.
11. Вестник Калужского университета. – 2007. - № 1. (спец. тематический выпуск)
12. Владимирский Б. М., Нарманский В. Я., Темуриянц Н. А. Космические ритмы: в магнитосфере–ионосфере, в атмосфере, в среде обитания; в биосфере–ноосфере, в земной коре. – Симферополь, 1994. – 173 с.
13. Владимирский Б.М., Сидякин В.Г., Темуриянц Н.А., Макеев В.Б., Самохвалов В.П. Космос и биологические ритмы. – Симферополь, 1995. – 206 с.
14. Владимирский Б. М., Темуриянц Н. А. Влияние солнечной активности на биосферу–ноосферу. – М.: МНЭПУ, 2000. – 374 с.
15. Владимирский Б.М., Темуриянц Н.А., Мартынюк В.С. Космическая погода и наша жизнь. – Фрязино: Изд-во Век 2, 2004. – 221 с.
16. Вольнский А.М. Изменение нервной и сердечной деятельности у животных разного возраста при воздействии электромагнитными полями низкой частоты и малой напряженности // Проблемы космической биологии. – 1982. – Т. 43.– С. 98 – 109.
17. Воейков В.Л. Активные формы кислорода – патогены или целители? // Клиническая геронтология. – 2003. – № 3. – С. 27 – 40.
18. Волчек О.Д. Геокосмос и человек. – С.Пб.: Изд-во РГПУ, 2006. – 331 с.
19. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1990. – 224 с.

20. Геофизические процессы и биосфера. – 2005. – Т. 4. – №4.
21. Гурфинкель Ю.И. Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность. – М.: 2004. – 168 с.
22. Думанский Ю.Д., Ногачевская С.И. Гигиеническая оценка влияний ЭМП высокой частоты на состояние иммунной реактивности организма // Гигиена и санитария. – 1992. – №5–6 – С. 34–37.
23. Жбанков Г.А., Заботин Н.А. Модулированное ионосферной нерегулярной структурой фоновое декаметровое радиоизлучение как возможный биотропный фактор // Крымский международный семинар "Космическая экология и ноосфера" (6 – 11 октября 1997 г., Партенит, Крым). Тезисы. Партенит, 1997. С.11 - 12.
24. Заботин Н.А., Жбанков Г.А. Неоднородная структура ионосферы как источник сильных вариаций фонового декаметрового излучения // Геомагнетизм и аэрономия. 1999. Т.39. № 5. С. 57-61.
25. Классен В. И. Омагничивание водных систем. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
26. Колодуб Ф.А. Информативность некоторых биохимических показателей при оценке влияния переменных магнитных полей низкой и промышленной частот // Гигиена и санитария. – 1989. – №10. – С.21–23.
27. Кузнецов А.И., Кшуташвили Т.Ш., Колоколов А.С., Лазарев А.В. Квазирезонансные зависимости аритмогенного действия низкочастотного магнитного поля на сократительную активность миокарда // Изв. АН СССР. Серия Биология. –1990. – № 2. – С. 178 – 183.
28. Леднев В.В., Сребницкая Л.К., Ильясова Е.Н., Белова Н.А., Тирас Х.П., Климов А.А., Рождественская З.Е. Магнитный параметрический резонанс в биосистемах // Биофизика. – 1996. – Т. 41. – Вып. 4. – С. 815 – 825.
29. Леднев В.В., Белова Н.А., Рождественская З.Е., Тирас Х.П. Биоэффекты слабых переменных магнитных полей и биологические предвестники землетрясений // Геофизические процессы и биосфера. – 2003. – Т. 2, №1. – С. 3 – 11.
30. Макарова И. Усиление напряжения магнитного поля Земли изменяет активность правого полушария мозга / Тезисы докладов 2–го Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения биологии и медицины», 03–07 июля, 2000, СПб. – С.Пб., 2000. – С. 42.
31. Мартынюк В.С. К вопросу о синхронизирующем действии магнитных полей инфранизких частот на биологические системы // Биофизика. 1992. – Т. 37, № 4 – С. 669 – 673.
32. Мартынюк В.С. Временная организация живых организмов и проблема воспроизводимости результатов магнитобиологических исследований // Биофизика. – 1995. – Т. 40, № 5. – С. 925 – 927.
33. Мартынюк В.С. Внутрисуточные гео– и гелиофизически значимые периоды в интегральном ритме двигательной активности животных // Биофизика. – 1998. – Т.43, №. 5. – С. 789 – 796.
34. Мартынюк В.С., Шадрин О.Г. Влияние переменного магнитного поля крайне низкой частоты на растворимость бензола в воде и растворах белка // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1999. – № 2. – С. 61 – 63.
35. Мартынюк В.С., Мартынюк С.Б. Влияние экологически значимого переменного магнитного поля на метаболические процессы в головном мозге животных // Биофизика. – 2001. – Т. 46, №. 5. – С. 876 – 880.
36. Мартынюк В.С., Абу Хада Р.Х. Реакция тучных клеток на действие переменных магнитных полей в условиях *in vitro* // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2001. – Т.14 (53), № 2 – С. 3 – 7.
37. Мартынюк В.С., Абу Хада Р.Х., Ибрагимова Н.Д. Реакция тучных клеток на действие хромогликата натрия и переменного магнитного поля в условиях *in vitro* // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2001. – Т.14 (53), № 3 – С. 117 – 120.
38. Мартынюк В.С. Связь динамики электрических характеристик организма человека с вариациями космической погоды // Геофизические процессы и биосфера. – 2005. – Т.4, N1. – С. 53 – 61.
39. Никольская К.А., Ещенко О.В., Шпинькова В.Н. Магнитное поле и алкогольное влечение // Биофизика. – 2000. – Т. 45, № 5. – С. 941 – 946.
40. Новиков В.В., Швецов Ю.П., Фесенко Е.Е., Новикова Н.И. Молекулярные механизмы биологического действия слабых магнитных полей. Устойчивость хроматина клеток асцитной карциномы Эрлиха и мозга мышей к ДНКазе 1 при комбинированном действии на организм слабых постоянного и низкочастотного переменного магнитных полей, настроенных на резонанс ионов полярных аминокислот // Биофизика. – 1997. – Т. 42, № 3. – С. 733 – 737.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИПОТЕЗЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

41. Новиков В.В., Кувичкин В.В., Фесенко Е.Е. Влияние слабых комбинированных постоянного и переменного низкочастотного магнитных полей на собственную флуоресценцию ряда белков в водных растворах // Биофизика. – 1999. – Т. 44, № 2. – С. 224 – 230.
42. Новикова К.Ф., Биков В.М., Михеев Ю.П. и др. Влияние солнечной активности на заболеваемость и смертность от инфаркта миокарда // Кардиология. – 1968. – № 4. – С. 109 – 112.
43. Павлова Р.Н., Музалевская Н.И., Соколовский В.В. Некоторые биохимические аспекты действия слабых низкочастотных МП / В кн.: реакция биологических систем на МП. – М.: Наука, 1978. – С. 49–58.
44. Пальчикова Н.А., Селятицкая В.Г., Панькина Т.В., Девинин Д.В. Физиологические характеристики и эмоционально-поведенческая реактивность животных в условиях моделированного пространства // Вестник МНИИКА. – 2003. – № 10. – С. 94 – 100.
45. Пресман А. С. Электромагнитные поля и живая природа. – М.: Наука, 1968. – 288с.
46. Пудовкин М.Н., Распопов О.М., Клейменова Н.Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. – Л.: ЛГУ, 1975. – Т. 2. – 270 с.
47. Русяев В.Ф. Действие электромагнитных полей на систему свертывания крови. – В кн.: Электромагнитные поля в биосфере. – М.: Наука. – 1984. – Т.2. – С. 97 – 108.
48. Сидякин В. Г., Темурьянц Н. А., Макеев В. Б., Владимирский Б. М. Космическая экология. – Киев, Наукова думка, 1985. – 176 с.
49. Сидякин В.Г. Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему. – Киев: Наукова думка, 1986. – 160 с.
50. Сидякин В.Г., Сташков А.М., Янова Н.П. и др. Физиологические механизмы регуляции зоосоциального поведения крыс при воздействии ЭМП НЧ // Физиологический журнал им. Сеченова. – 1995. – Т. 81. – № 4. – С. 21 – 31.
51. Ситько С.П., Мкртчян Л.Н. Введение в квантовую медицину. – Киев, Изд-во «Паттерн», 1994. – 146 с.
52. Смирнов Р.В. Солнечно-атмосферные связи в теории климата и погоды. – Л.: Гидрометеиздат., 1974. – С. 1 – 33.
53. Соколовский В.В. Ускорение окисления тиоловых соединений при возрастании солнечной активности // Проблемы космической биологии. – 1982. – Т.41. – С. 194 – 197.
54. Сташков А.М., Горохов И.Е. Гипоксическое и антиокислительное биологическое действие многодневного применения слабого и переменного магнитного поля сверхнизкой частоты // Биофизика. – 1998. Т. – 43, № 5. – С. 807 – 810.
55. Степанюк И.А. Электромагнитные поля при аэро- и гидрофизических процессах. – С.Пб.: Изд-во РГГМУ, 2002. – 214 с.
56. Темурьянц Н.А. О биологической эффективности слабого ЭМП инфранизкой частоты // Проблемы космической биологии. – 1982. – Т. 43. – С. 128 – 139.
57. Темурьянц Н.А., Михайлов А.В. Влияние переменного магнитного поля инфранизкой частоты на функциональную активность нейтрофилов в крови крыс с ограниченной подвижностью // Биофизика. – 1988. – Т.33, № 5. – С. 863 – 866.
58. Темурьянц Н.А., Макеев В.В., Малыгина В.Н. Влияние слабых ПемП КНЧ на инфрадианную ритмику симпатoadреаловой системы крыс // Биофизика. – 1992. – Т.37, №4. – С. 653 – 655.
59. Темурьянц Н.А., Грабовская Е.Ю. Реакция крыс с разными конституциональными особенностями на действие слабых переменных магнитных полей крайне низких частот // Биофизика. – 1992. – Т. 37, № 4. – С. 817 – 820.
60. Темурьянц Н. А., Владимирский Б. М., Тишкин О. Г. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. – Киев: Наукова думка, 1992. – 187 с.
61. Темурьянц Н.А., Шехоткин А.В., Камынина И.Б. и др. Влияние слабых ПемП на инфрадианную ритмику функциональной активности лейкоцитов крови крыс // Биофизика. – 1996.– Т.41. – №4. – С. 930 – 933.
62. Темурьянц Н.А., Шехоткин А.В. Современные представления о механизмах электромагнитных воздействий // Вестник физиотерапии и курортологии. – 1999. – Т.5. – №1. – С. 8 – 13.
63. Фесенко Е.Е., Новиков В.В., Швецов Ю.П. Молекулярные механизмы биологического действия слабых магнитных полей. Регуляция межмолекулярных взаимодействий в водном растворе ДНК, ДНКазы 1 и белка ингибитора под влиянием комбинированного действия слабых постоянного и низкочастотного переменного магнитных полей, настроенных на резонанс ионов полярных аминокислот // Биофизика. – 1997. – Т. 42, № 3. – С. 742 – 745.
64. Холодов Ю.А., Щишло М.А. Электромагнитные поля в нейрофизиологии. – М.: Наука, 1979.–168 с.

65. Холодов Ю.А. Мозг в электромагнитных полях. – М.: Наука, 1982. – 123 с.
66. Холодов Ю.А. Неспецифическая реакция нервной системы на неионизирующие излучения // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1998. – Т. 38, № 1. – С. 121 – 125.
67. Цыганков К.В., Павленко В.Н., Цыганков А.В. объяснение гелиобиологических закономерностей с позиций учения о функциональной асимметрии головного мозга / Тезисы докладов 7-й Международной крымской конференции «Космос и биосфера», 1-6 октября, 2007, Судак, Украина. – Киев, 2007. – С. 125.
68. Чернышева О.Н. Влияние переменного магнитного поля промышленной частоты на состав липидов в печени крыс // Украинский биохимический журнал. – 1987. – Т.59. – № 3. – С. 91 – 94.
69. Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. – М. Мысль, 1976.
70. Чижевский А. Л. Космический пульс жизни. – М. Мысль, 1995. – 768 с.
71. Яшин А.А. Живая материя. Физика живого и эволюционных процессов. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. – 264 с.
72. Adey W.R. Tissue interaction with non-ionizing electromagnetic fields // *Physiol Rev.* – 1981. – Vol. 61, N 2. – P. 435 – 439.
73. Alipov Y.D., Belyaev I.Y. Difference in frequency spectrum of extremely-low-frequency effects on the genome conformational state of AB 1157 and EMG2 *E. coli* cells // *Bioelectromagnetics.* – 1996. – Vol. 17, N 5. – P. 384 – 387.
74. Alipov Y.D. И Belyaev I.Y. Frequency-dependent effects of ELF magnetic field on chromatin conformation in *Escherichia coli* cells and human lymphocytes // *Biochim. Biophys. Acta.* – 2001. – Vol.1526, N 3. – P. 269 – 276.
75. *Biophysics.* – 2004. – Vol. 49, Suppl. 1. (special issue).
76. Blank M., Goodman R. Electromagnetic stimulation of Biosynthesis: a hypothesis / Abstracts of 17th Annual Meeting of BEMS, June 18–22, 1995, Boston. – Boston, 1995. – P. 181–182.
77. Blank M., Soo L. Frequency dependence of Na,K-ATPase function in magnetic fields // *Bioelectrochemistry and Bioenergetics.* – 1997. – Vol. 42. – P. 231 – 234.
78. Blank M., Soo L. Frequency dependence of cytochrome oxidase in magnetic fields // *Bioelectrochemistry and Bioenergetics.* – 1998. – Vol. 46. – P. 139 – 143.
79. Burch J.B., Reif J.S., Yost M.G. Geomagnetic disturbances are associated with reduced nocturnal excretion of a melatonin metabolite in human // *Neurosci. Lett.* – 1999. – Vol. 266, N 3. – P. 209–212.
80. Gavalas-Medici R.T., Day-Magdaleno S.R. ELF electric fields effects schedule-controlled behaviour of monkeys // *Nature.* – 1978. – Vol. 261, N 5557. – P. 256 – 258.
81. Goodman R., Bassett C.A., Henderson A.S. Pulsing electromagnetic fields induce cellular transcription // *Science.* – 1983. – Vol. 220. – P. 128 – 130.
82. Goodman R., Wei L.-X., Xu J.-C., Henderson A.S. Exposure of human cells to low-frequency electromagnetic fields results in quantitative changes in transcripts // *Biochim. Biophys. Acta.* – 1989. – Vol. 1009. – P. 216 – 219.
83. Harland J., Eugstorm S., Liburdy R. Evidence for a slow time-scale of interaction for magnetic fields inhibiting tamoxifen antiproliferative action in human breast cancer // *Cell Biochem. Biophys.* – 1999. – Vol. 31, N 3. – P. 295 – 306.
84. Ishido M., Kabuto M. Magnetic fields of 50 Hz at 1.2 μ T as well as 100 μ T cause uncoupling of inhibitory pathways of adenylcyclase mediated by melatonin 1a receptor in MF-sensitive MCF-7 cells // *Carcinogenesis.* – 2001. – Vol. 22, N 7. – P. 1043 – 1048.
85. Juutilainen J, Laara E, Saali K. Relationship between field strength and abnormal development in chick embryos exposed to 50 Hz magnetic fields // *Int. J. Radiat. Biol.* – 1987. – Vol. 52 – P. 787 – 793.
86. Kavaliers M., Ossenkopp K.P. Magnetic fields differentially inhibit μ -, δ -, κ - and σ -opioid-induced analgesia in mice // *Peptides.* – 1986. – Vol. 7. – P. 449 – 453.
87. Leal J., Trillo M.A., Ubeda A., Abraria U. et al. Magnetic environment and embryonic development. A role of Earth's field // *I.R.C.S. Med. Sci.* – 1986. – Vol. 14. – P. 1145 – 1146.
88. Lednev V.V., Belova N.A., Potselueva M.M., Yurkov I.S. Regulation of the oxidative burst in mouse peritoneal neutrophils by application of weak magnetic fields / Abstracts of 2nd International Alexander Gurwitsch Conference «Non-Equilibrium and Coherent Systems in Biology, Biophysics and Biotechnology», September – 6 – 10, 1999, Moscow. – Moscow, 1999. – P. 27.
89. Liboff A.R., Resek R.J., Sherman M.L., McLeod B.R., Smith S.D. $^{45}\text{Ca}^{2+}$ cyclotron resonance in human lymphocytes // *J. Bioelectricity.* – 1987. – Vol. 6. – P. 27 – 36.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИПОТЕЗЫ СОЛНЕЧНО-БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

90. Lin H., Blank M., Rossol-Haseroth K., Goodman R. Regulating genes with electromagnetic response elements // *Journal of Cellular Biochemistry*. – 2001. – Vol. 81, N 1. – P. 143 – 148.
91. Lisi A, Ciotti MT, Ledda M, Pieri M, Zona C, Mercanti D, Rieti S, Giuliani L, Grimaldi S. Exposure to 50 Hz electromagnetic radiation promote early maturation and differentiation in newborn rat cerebellar granule neurons // *J. Cell. Physiol.* – 2005. – Vol. 204, N 2. – P. 532 – 538.
92. Ludwig H.W. Electromagnetic multiresonance – the base of homeopathy and biophysical therapy // *Proc. 42nd*
93. Lyle D.B., Ayotte R.D., Shepard A.R., Adey A.R. Suppression of T-lymphocyte cytotoxicity following exposure to 60 Hz sinusoidal electric fields // *Bioelectromagnetics*. – 1988. – N 3. – P. 303 – 313.
94. Martynyuk V.S., Panov D.A. Surfactant Properties of Natural Phospholipids in Media Treated with Extremely Low Frequency Magnetic Field // *Biophysics*. – 2004. – Vol. 49. – N. 1. – P.23–25.
95. Martynyuk V.S., Tseysler Yu. V. The Hydrophobic–Hydrophilic Balance in Water Solution of Proteins as The Possible Target for Extremely Low Frequency Magnetic Fields // In: *Biophotonics and Coherent Systems in Biology* – Berlin–Heidelberg–New York: Springer, 2006. – P. 105 – 122.
96. McCaig C.D., Rajniecek A.M. Electrical fields, nerve growth and nerve regeneration // *Experimental physiology*. – 1991. – Vol. 76. – P. 473 – 494.
97. Ormenyi I., Nemeth T. Effect of Meteorological and Cosmic Factors upon Electrolyte Solution // *Theor. Appl. Climatol.* – 1990. – Vol. 42. – P. 129 133.
98. Pavlenko V.B., Kulichenko A.M. Influence of Extreme Frequency Electromagnetic Fields on Cat Behaviour and Neural Activity of Locus Coeruleus // *Biophysics*. – 2004. – Vol. 49, N 1. – P. 111 – 114.
99. Piccardi G. The Chemical Basis of medical Climatology – Ch. Thomas, Springfield, 1962. – 146 p.
100. Pfluger D. H., Minder C. E. Effects of exposure to 16.7 Hz magnetic fields on urinary 6–hydroxymelatonin sulfate excretion of Swiss railway workers // *J. Pineal Res.* - 1996. – Vol.21. – P. 91–100.
101. Qin C, Evans J.M., Yamanashi W.S., Scherlag B.J., Foreman R.D. Effects on Rats of Low Intensity and Frequency Electromagnetic Field Stimulation on Thoracic Spinal Neurons Receiving Noxious Cardiac and Esophageal Inputs // *Neuromodulation*. – 2005. – Vol. 8, N 2. – P. 79 – 85.
102. Sastre A., Cook M.R., Graham C. Nocturnal Exposure to Intermittent 60–Hz Magnetic Fields Alters Human Cardiac Rhythm // *Bioelectromagnetics*. – 1998. – Vol. 19. – P. 98 – 106.
103. Simko M., Droste S., Kriehuber R., Weiss D.G. Stimulation of phagocytosis and free radical production in murine macrophages by 50 Hz electromagnetic fields // *Eur. J. Cell. Biol.* – 2001. – Vol. 80, N 8. – P. 562 – 566.
104. Tokalov S.V, Gutzeit H.O. Weak electromagnetic fields (50 Hz) elicit a stress response in human cells // *Environ. Res.* – 2004. – Vol. 94, N 2. – P. 145 – 151.
105. Wever R.A. Human circadian rhythms under the influence of weak electric fields and the different aspects of these studies // *Int. J. Biometeorol.* – 1973. – 17, N 3. – P. 227 – 232.
106. Zecca L., Mantegazza C., Piva F., Hagino N. Neutransmitters in brain cortex of rats exposed to 50 Hz EMF / Abstracts of 17th Annual Meeting of BEMS, June 18–22, 1995, Boston. – Boston, 1995. – P. 83.

Мартинюк В.С., Темур'яниц Н.А. Експериментальна верифікація електромагнітної гіпотези сонячно-біосферних зв'язків // Учені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. – 2007. – Серія «Біологія, хімія». – Т. 20 (59), № 1. – С. 8 – 27.

В огляді аналізується сучасний стан проблеми впливу слабких електромагнітних полів на живі організми у контексті гіпотези про те, що варіації електромагнітного фону, що контролюються космічною погодою, можуть бути основним посередником у сонячно-біосферних зв'язках.

Ключові слова: сонячна активність, біологічні ефекти електромагнітних полів.

Martynyuk V.S., Temuryants N.A. The experimental verification of electromagnetic hypothesis of solar-biosphere connections // *Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series "Biology, chemistry"* . – 2007. – Vol. 20 (59), № 1. – P. 8-27.

The state-of-art of problems of weak electromagnetic influence on living organism in context of "electromagnetic hypothesis" of connections of solar activity with biological processes is analyzed in this review.

Key words: solar activity, biological effects of electromagnetic fields.